

# ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВА 29НК

*Ефимова Е.Д., Тацценко Т.А.*  
*Руководитель – д.т.н. Калетина Ю.В.*  
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург  
kapitu@mail.ru

В различных областях современной техники широко используются прецизионные сплавы с особыми тепловыми и упругими свойствами. От правильного выбора и применения прецизионных сплавов зависит не только эффективность новых разработок, качество выпускаемых изделий, но и экономия дефицитных металлов и сплавов, стоимость выпускаемой продукции. Основными параметрами, характеризующими эти сплавы, являются значения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), регламентированные в определенных интервалах температур в зависимости от условий применения сплавов.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния технологических режимов обработки сплава 29НК на изменение микроструктуры, фазового состава, размера зерна и состояния поверхности образцов.

Исследованный сплав 29НК применяется для изготовления вакуумно-плотных спаев с тугоплавкими стеклами, и относится к сплавам с низким ТКЛР ( $3,5 \leq \alpha \leq 6,5$ ) до температуры  $420^\circ\text{C}$ .

Методами оптической металлографии и сканирующей электронной микроскопии с использованием локального микрорентгеноспектрального анализа исследована структура сплава в исходном состоянии, после отжига в среде водорода или в вакууме, а также после спекания со стеклом различными способами. Исследование проводили на цилиндрических образцах диаметром 15 мм и высотой 15 мм.

В исходном состоянии сплав имеет аустенитную структуру со средним диаметром зерна  $\sim 35$  мкм. Внутри зерен хорошо выявляются двойники.

Сплав 29НК подвергали отжигу при  $1040 \pm 20^\circ\text{C}$  с выдержкой в течение 1 ч в среде водорода с последующим охлаждением с печью в среде водорода до комнатной температуры. Часть образцов отжигали в вакууме при температурах 1000-1050  $^\circ\text{C}$  с выдержкой 1 ч после чего охлаждали с печью до комнатной температуры.

После отжига проводили спекание сплава 29НК со стеклом марки С 48-2. Спекание осуществляли по режиму - ступенчатый нагрев до 900-920  $^\circ\text{C}$  в течение 30 мин, до 1000-1050  $^\circ\text{C}$  в течение 10 мин, до 1030-1060  $^\circ\text{C}$  в течение 10 мин и последующее ступенчатое охлаждение до 870-920  $^\circ\text{C}$  в

течение 10 мин, до 710-760 °С в течение 10 мин, затем охлаждение с печью до комнатной температуры.

Выявлены различия фазового состава, микроструктуры, размера зерна аустенита и состояния поверхности образцов исследуемого сплава после каждого этапа термической обработки.

Показано, что в исходном состоянии поверхность образцов сплава 29НК относительно чистая. Обнаружено лишь небольшое количество оксисульфидов и карбонитридов титана. После отжига в среде водорода вытравливается зеренная структура, на поверхности наблюдается рельеф. Микрорентгеноспектральный анализ поверхности образцов после отжига в среде водорода выявил незначительное количество оксидов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  и  $\text{FeO}$ . На шлифах после травления оксиды отсутствовали, наблюдали отдельные редкие включения неправильной формы - сульфиды, которые образовались при выплавке сплава.

После отжига в вакууме на поверхности образцов обнаружено незначительное количество сложных оксидов, содержащих кремний, алюминий, кальций, марганец и титан. Размер зерна не изменился по сравнению с исходным состоянием, границы зерен чистые. В аустенитной структуре видны двойники разной толщины, что характерно для аустенитной структуры сплава 29НК.

Установлено, что после спекания по всем технологическим режимам наблюдается рост зерна. В структуре присутствуют как крупные зерна со средним диаметром до 180 мкм, так и более мелкие зерна - до 20 мкм. После спекания появляются дисперсные и крупные частицы округлой формы. Они располагаются как по границам аустенитных зерен, так и внутри зерна в виде отдельных «шариков» или скоплений. Локальный микрорентгеноспектральный анализ подобных частиц показал, что это сложные оксиды кремния, марганца и железа. В зависимости от содержания кислорода и кремния образуются железомарганцевые силикаты с переменным содержанием  $\text{SiO}_2$ , соответствующие формуле  $(\text{FeO}, \text{MnO}) \cdot \text{SiO}_2$ . После травления шлифов оксидов не обнаружено, они исчезают. В отдельных случаях при травлении по границам зерен наблюдали ямки травления различной формы, определяемой ориентировкой аустенитных зерен. Включений или частиц в ямках травления не выявлено.

Таким образом, показано, что при спекании сплава 29НК со стеклом по различным технологическим режимам наблюдается рост зерна аустенита, идет процесс собирательной рекристаллизации. В процессе спекания на поверхности появляются частицы округлой формы, представляющие собой оксиды, содержащие кремний, марганец и возможно, железо. Оксиды кремния, образующиеся при спекании, можно удалить с поверхности последующим травлением в специальных растворах.

*Работа выполнена при частичной поддержке проекта Президиума УрО РАН 12-У-2-1022 и проекта РФФИ 12-03-00050-а.*